中華農業氣象（Chinese J. Agromet.）2(4): 157-162, 1995

研究報告 (Original Paper)

# 酸雨指標作物之研究－利用模擬方式評估兩種篩選方法

姚銘輝　蔡金川

臺灣省農業試驗所

## 摘　要

選定14種臺灣主要農作物爲酸雨指標作物篩選材料，探討兩種簡易篩選方法：一、酸性緩衝力指數，利用稀鹽酸滴定經研磨後葉片組織均質液，用以了解對酸沉降的緩衝力。二、葉表酸鹼度測定，將不同酸度之模擬酸雨噴施葉片後，以平面酸鹼度電極棒測定葉表酸鹼度變化，用以瞭解葉表對酸根離子的中和力。試驗結果顯示，緩衝力指數和葉片斑點面積相關係數達0.73，顯然可作爲評估葉片傷害的指標。相反的，葉表酸鹼度變化因作物間表層臘質的差異及其他因素干擾，無法顯示出和葉片傷害的一致性。

**關鍵詞**：模擬酸雨，緩衝力指數，葉表酸鹼度，指標作物。

# Studies of Acid Rain Indicator—The Use of Simulation Method to Compare Two Screening Methods.

Ming-Hwi Yao and Jin-Chuan Tsai (Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC)

**ABSTRACT:** Foliage buffering capacity index (BCI) and leaf surface pH were measured in 14 major crops of Taiwan. Plants were exposured to simulated acid rain ( pH7.0, 3.5, 3.0 and 2.5) in greenhouse. The experimental results indicated that leaves had a capacity to neutralize acid rain. Crop species differed in their capacity to buffering specific levels of acidic input, with similar BCI levels differ in folilar necrosis ( $r=0.73$ ). Leaf surface pH is not a proper screening method for acid rain indicator, because of the multifactural response of epicuticular waxs with acid rain.

**Key words:** Simulated acid rain, Buffering capacity index, Leaf surface pH, Indicator.

## 前　言

臺灣酸雨問題日益受到重視，尋找指標作物，作爲酸雨害的判定及預警極爲迫切。但事實上，若依現今臺灣降雨的酸度而言，作物甚難出現外觀上明顯受害徵狀，而若葉片出現斑點或黃化時，究竟是酸雨或其他污染源所造成亦難以判斷。所以現行酸雨指標作物之研究，應以對酸雨較敏感作物爲材料，以生理或生化的方法來判斷是否受酸雨傷害，並由傷害程度的研判，作爲預警及防患措施之指標。

作物器官中以葉片表面積最大，承受酸雨淋洗的面積及機會均較其他器官爲大，最易顯現酸雨受害程度，此外，葉片爲光合產物及各種營養物質製造及積儲的器官，不論農作物最終產物爲花、果實或種子，

收到稿件 (Received): 18 Jul. 1995.
接受稿件 (Accepted): 25 Aug. 1995.

皆需葉片提供營養。同時葉片亦爲各種生理作用最爲活躍的地方， 對生長環境的逆境較其他器官更易感測。植物對酸性沈降物的反應，受酸性物質沈降量影響，其中以氫離子濃度、沈降速率及溼潤時間最爲顯著（ Musselman, 1988 ），其中葉表溼潤程度對植物受酸沉降的傷害影響極大 (Hains *et al.*, 1985) 。表面溼潤程度因物種間表面型態而有差異， Shriner (1980) 指出，葉片表面上的粒子可中和或改變沈降物對葉片的傷害，另葉片的表面和內部孔腔間離子交換對葉片表面中和酸性沈降亦具重要性，而表層脂質則扮演對這種交換的導管或阻礙的角色。沈降將使葉片組織內大量物質溶脫 (leaching) ，包括 $K^{+}$ 、 $Ca^{+2}$ 及 $Mg^{+2}$ 等陽離子，這些離子可緩衝酸沈降對葉片的直接傷害；此外長時間的淋洗將使鹽份流失，結果將因緩衝力喪失而引起葉片傷害。而物種和品種間，葉片組織對酸沈降的中和能力並不相同 (Pylypec and Rdmann, 1984; Soars *et al.*, 1995) 。

利用高等植物監測酸雨，目前已從研究階段進入實用階段，而且已由症狀觀察進入分子層次的研究。這方面的研究主要在探討酸雨進入及傷害植物細胞的機制，包括觀察植物細胞微細構造的變化及生理生化反應等，以判斷其與酸雨酸度與物種間的關係。至於指標作物的篩選技術研究方面， Mclaughlin 等 (1994) 指出當植物遭遇空氣污染及大氣沉降所引起的逆境時，葉片上 arginine 、 glutamine 及 proline 等大量累積，因此認爲葉片游離胺基酸的累積可作爲監測生態系統逆境的指標。 Bender (1990) 在溫室內以低濃度 $SO_2$ 、 $O_2$ 和人工模擬酸霧 (pH4.0) 處理樅樹 (fir) ，發現 glutamate dehydrogenase 和 glutamine systhetase 有上昇趨勢。而中歐及北美東部森林的衰敗和大氣中含硫污染物有關， Legge 及 Bogner (1988) 指出葉片有機硫及無機硫的比率，可作爲監測森林的指標。上述這些方法其優點爲靈敏度高，可在較高的 pH 值及短時間內觀察到酸雨對植物細胞的傷害，以達到早期偵測的目的，不過由於較偏重於理論方面，且需精密的儀器設備，非一般實驗室所能操作。

酸雨對作物葉片傷害，主要在葉片上產生白色或褐色的壞死組織 (necrosis) 、斑點及黃化現象，花朵則產生褪色斑點。葉片受害程度與 pH 值的高低有關，一般而言， 農作物在 pH3.5 以下受害 (Olszyk *et al.*, 1989) 。而依據以往研究結果，認爲 pH3.0 是造成葉片傷害的門檻 (threshold) 酸度（ 姚等， 1995; 姚等， 1995; Yao *et al.*, 1995) ，所以本試驗 pH 值的選定除對照組 (pH7.0) 外，係以 3.5, 3.0 及 2.5 等三種 pH 處理不同作物，至於 pH2.5 以下的酸雨，因自然界甚少出現，故不在探討範圍之內。本試驗係以葉片表面 pH 值變化及酸性緩衝能力兩種測定方法，探討與作物傷害（ 葉片斑點面積 ）間的關係性，此兩種方法操作簡單、且只需酸鹼度計即可進行，因此，利用於評估臺灣田間主要農作物作爲酸雨指標作物的篩選工具。

## 材料與方法

選定臺灣田間主要農作物十四種（ 表 1 ）、以盆缽方式種植於塑膠布溫室內，以避免天然雨水及減少粉塵沉降，土壤係取田間壤土與有機肥料以 1:1 比例種植，生育期間施用一次複合肥料作爲追肥，水份則以水管直接灌入盆缽土壤內，避免淋澆於葉片上。處理材料是以開花期成熟葉片爲主，蔬菜類（ 包括小白菜、莧菜、芥藍及空心菜等 ）則可供市場接受時的生育期。模擬酸雨的噴施分別以每日早上 9 點及下午 4 點共二次，連續處理五天，共噴施模擬酸雨十次。噴施酸度分別爲 PH 7.0, 3.5, 3.0 及 2.5 等四種。模擬酸雨配製以硝酸：硫酸 = 2.5:1 （ 莫耳比 ），用手持式噴霧器直接噴灑於葉表上，雨滴粒徑爲 0.3 mm （ 以水試紙測定後，依球體面積推算平均粒徑 ），噴施量以葉片完全濕潤爲原則（ 約 1 mm) ，於處理後計算葉片斑點面積。計算方法是將斑點面積分爲六級： 0

Table 1. Levels of buffering capacity index (BCI) of 14 crops.

| Crop | BCI |
|---|---|
| 1. *Oryza sativa* cv. TN 67 | 187.9±23.7 |
| 2. *Oryza sativa* cv. TC sen 10 | 178.6±12.9 |
| 3. *Zea mays* cv. Honey jean No.2 | 181.2±18.5 |
| 4. *Arachis hygogaes* cv. Tainun sel 9 | 161.4± 5.3 |
| 5. *Ipomoea batatas* cv. TN 57 | 163.7±13.9 |
| 6. *Brassica chinensis* cv. Fan shan No.1 | 159.6±11.6 |
| 7. *Amaranthus mangostanus* cv. White amaranthus | 198.5±28.9 |
| 8. *Phaseolus vulgaris* cv. Tender pod | 118.9±19.6 |
| 9. *Vigna sesquipedalis* cv. Green coat black seed(青皮黑仁) | 125.6±15.8 |
| 10. *Brassica albograbra* c.v Siberian (尖葉白花) | 185.6±11.1 |
| 11. *Ipomoca aquatica* cv. Small leaf (小葉種) | 176.4±29.7 |
| 12. *Raphanus sativus* cv. Ta-mei-hua (大梅花) | 219.3± 7.3 |
| 13. *Chrysanthemum morifolium* cv. Anemone | 163.8±11.5 |
| 14. *Rosa rugosa* cv. Rosea | 185.5± 9.7 |

～ 0% ，1=1 ～ 20%，2=21 ～ 40%，3=41 ～ 60% ，4=61 ～ 80% ，5=81 ～ 100 % ，以目測方式判斷每一處理，四重複，每重複 5 片葉片，取平均值。

在測定葉表 pH 值前，先用純水沖洗葉片三次，主要是因爲葉表上的灰塵將影響 pH 值變化，再將不同 pH 值模擬酸雨噴施於葉表上，30 分鐘後以平面式 pH 值電極棒測定葉表 pH 值變化。

緩衝力指數 (buffering capacity index, BCI) 之測定係取大約 1 g 的成熟葉片稱鮮重 (Wf) ，然後置於 80 ℃烘箱烘 24 小時後，稱乾物重 (Wd) ，另取大約鮮重 1 g 之葉片 (Wh) ，加 30 ml 蒸餾水研磨成均質液，以酸鹼度計 (orion, model 401) 測均質液 pH 值，再將 0.01N (Na) 鹽酸 10 ml 以每次 0.5 ml 的速度滴入均質液中，並記錄 pH 值變化，滴定同時以攪拌器使滴定液與均質液均勻混合，由滴定資料計算出產生 5 μ equiv 氫離子濃度所需滴定體積 (Va) 。緩衝力指數計算公式如下列：BCI= (Na)(Va)(Wf)($10^6$) ／ (Wd)(Wh) (Pylypec and Rdmann, 1984) 。

## 結果與討論

影響環境的污染源種類相當多。污染源如具有某些專一性的特徵，則有指標的鑑定價值，但也有一些不具專一性，例如氟化物造成的症狀往往與沿海地區鹽沫所造成者類似，二氧化硫與氨氣或氯化氫所造成的症狀亦不易區分。此外土壤肥料缺乏或過量，病蟲害或農藥所引起的藥害等，都可能產生類似的症狀。針對此問題，本試驗測定不同物種間葉片緩衝能力，用以了解不同物種葉片對氫離子的緩衝能力，其結果如表 1 所示。作物間葉片緩衝能力差異甚大，其中以蘿蔔 219.3 最高，豆科作物之菜豆及豇豆最低，指數分別爲 118.9 及 125.6 。由於葉片中陽離子、碳酸鹽、磷酸鹽及有機酸等是植物緩衝系統的重要成份 (Pylypc, 1984) ，緩衝物可與酸雨中酸根離子置換或相互結合而減少傷害，但是長時間暴露於酸雨下，或雨中酸度過強則緩衝物耗盡，葉片組織 pH 值下降，將影響葉片生理及生化反應 (Raven, 1990) 。以光合作用爲例，葉綠體行光合作用 pH 值最高爲 7.6 ～ 7.8 ，在 pH6.5 以下則停止 (Kaiser and Heber, 1983) 。酸雨使葉綠體基質 ( stroma ) 酸化，由於在光線下，葉綠體基質爲葉片上最鹼的部份，具有最高捕捉 $H^+$ 能力，基質的酸化將抑制光合作用的進行，而有些光活化酵素，如 fructosebiphosphate 和 sedoheptulose bisphosphatase ，在基質 pH 低於 7.0 以下甚少有活性 (Pfanz and Heber, 1986) 。由於酸雨將破壞葉綠體，導致光合作用下降及斑點的產生。圖 1 爲各種作物緩衝力指數與 pH2.5 處理下斑點面積的相關圖，兩者相

Table 2. Levels of leaf surface pH value and scale of necrosis of crops after exposurd to simulated acid rain.

| Corp | Surface pH | | | | Scale of necrosis | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 7.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 3.5 | 3.0 | 2.5 |
| 1. *Oryza sativa* cv. TN 67 | $6.8^{a}$ | $6.0^{b}$ | $4.1^{c}$ | $3.5^{d*}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0.8^{b}$ |
| 2. *Oryza sativa* cv. TC sen 10 | $7.0^{a}$ | $6.1^{b}$ | $4.7^{c}$ | $3.0^{d}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $1.1^{b}$ |
| 3. *Zea mays* cv. Honey jean No.2 | $6.9^{a}$ | $6.1^{b}$ | $4.7^{c}$ | $3.8^{d}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ |
| 4. *Arachis hygogaes* cv. Tainun sel 9 | $7.0^{a}$ | $6.2^{b}$ | $4.4^{c}$ | 3.5d | $0^{a}$ | $0.5^{b}$ | $1.9^{c}$ |
| 5. *Ipomoea batatas* cv. TN 57 | $7.1^{a}$ | $7.0^{a}$ | $5.3^{b}$ | $3.4^{c}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $1.9^{b}$ |
| 6. *Brassica chinensis* cv. Fan shan No.1 | $7.4^{a}$ | $6.8^{a}$ | $3.7^{b}$ | $3.2^{c}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $1.2^{b}$ |
| 7. *Amaranthus mangostanus* cv. White amaranthus | $7.5^{a}$ | $7.1^{b}$ | $5.0^{c}$ | $3.7^{d}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0.8^{b}$ |
| 8. *Phaseolus vulgaris* cv. Tender pod | $7.6^{a}$ | $7.5^{a}$ | $4.5^{b}$ | $3.0^{c}$ | $0^{a}$ | $1.0^{b}$ | $2.1^{c}$ |
| 9. *Vigna sesquipedalis* cv. Green coat black seed (青皮黑仁) | $7.1^{a}$ | $6.3^{b}$ | $4.9^{c}$ | $3.5^{d}$ | $0^{a}$ | $0.8^{b}$ | $2.9^{c}$ |
| 10. *Brassica albograbra* c.v Siberian (尖葉白花) | $7.3^{a}$ | $5.1^{b}$ | $3.4^{c}$ | $2.6^{d}$ | $0^{a}$ | $0.3^{a}$ | $2.0^{b}$ |
| 11. *Ipomoca aquatica* cv. Small leaf (小葉種) | $7.1^{a}$ | $7.0^{a}$ | $4.2^{b}$ | $3.9^{c}$ | $0^{a}$ | $1.0^{a}$ | $1.5^{b}$ |
| 12. *Raphanus sativus* cv. Ta-mei-hua (大梅花) | $7.5^{a}$ | $7.2^{a}$ | $3.8^{b}$ | $3.8^{c}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0.3^{b}$ |
| 13. *Chrysanthemum morifolium* cv. Anemone | $7.3^{a}$ | $5.3^{b}$ | $4.1^{c}$ | $2.9^{d}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ |
| 14. *Rosa rugosa* cv. Rosea | $7.0^{a}$ | $6.6^{a}$ | $3.7^{b}$ | $3.3^{c}$ | $0^{a}$ | $0^{a}$ | $0.9^{b}$ |

*: means followed by the same letter within each row are not significantly different at 5% level by Duncan's New Multiple Range Test.

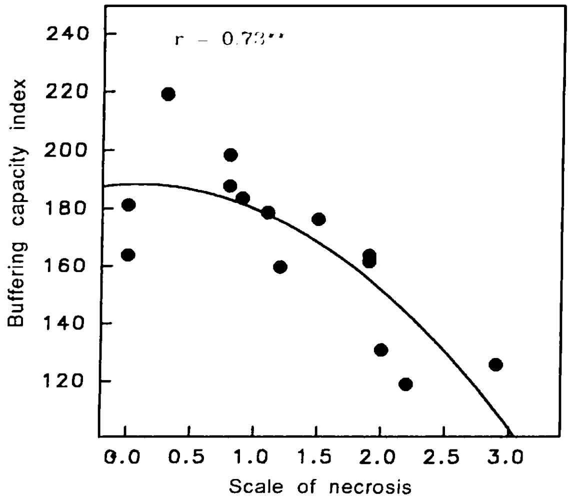


Fig. 1. The relationship between leaf buffering capacity index and scale of necrosisunder pH 2.5 treatment.

關係數達 0.73，即葉片緩衝力越高，則產生斑點面積越少，此與 Soarse 等 (1995) 以三十三種森林植物爲材料所作結果相似。不過由於葉片緩衝力隨季節變化 (Pylypec and Redmann, 1984)，所以在進行物種及品種間比較時，植株生育時期及植物體營養狀態應有一致性，才易比較其差異性。至於 pH 3.0 及 3.5 模擬酸雨並無未使所有作物產生斑點，未產生斑點之葉片受害度難以評估，所以和緩衝力指數及葉表酸鹼度的相關性，皆以 pH 2.5 處理爲例。

Adams 等 (1984) 以不同酸雨 pH 值 (pH 5.6 、 3.5 及 3.0) 處理數種植物葉片，發現葉表面雨滴的 pH 值在處理 75 分鐘後逐漸上升。另一方面，植物表層臘質上 pH 值則降低，顯然葉片表面物質具有中和酸度的能力。關於本試驗中葉表 pH 的測定，由預備試驗中，噴施模擬酸雨後經 5 、 10 、 15 、 20 、 30 及 60 分鐘後測葉表 pH 變化，發現噴施 5 分鐘後 pH 值即產生變化，20 分鐘後趨於平衡，數值不再改變，所以本試驗測定葉表 pH 值時間訂爲 30 分鐘，結果如表 2 所示，由數據顯示，不論何種酸度的雨水噴於葉片上，均可使水滴 pH 值上昇， pH 3.5 噴施後雨滴 pH 值接近 7.0，這種酸度顯然無法造成葉片傷害； pH 3.0 噴施各作物間葉表 pH 值則分佈在 3.5 ～ 5.0 之間； pH2.5 的噴施除芥藍及菊花外，其餘介於 3.0 ～ 4.0 之間。芥藍葉片有一層相當明顯的疏水臘質，雨滴不易在葉片停留，所以測得雨滴 pH 值與噴施酸度相似，但雖然有臘質存在， pH2.5 的酸度

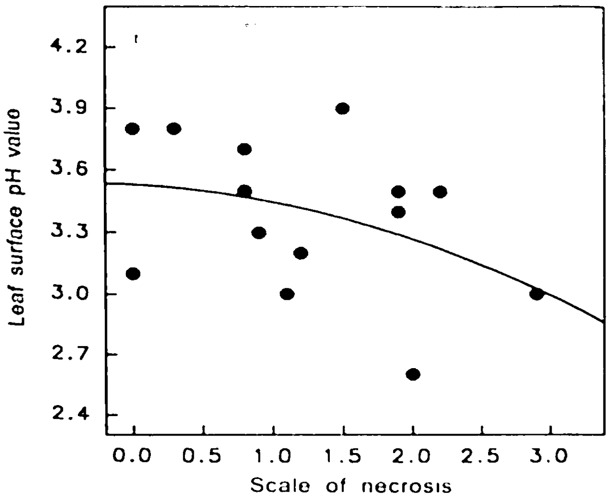


Fig. 2. The relationship between leaf surface pH and scale of necrosis under pH 2.5 treatment.

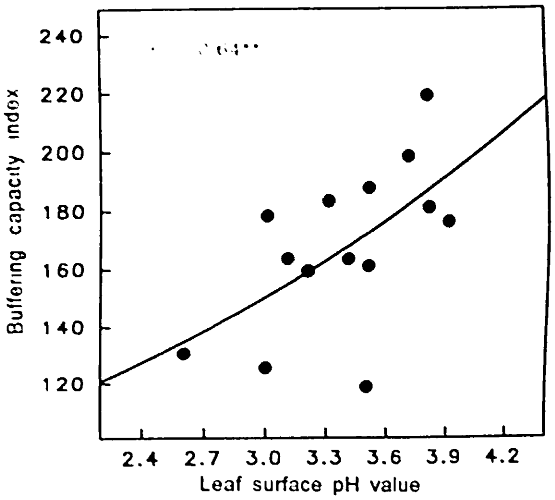


Fig. 3. The relationship between leaf buffering capacity index and surface pH under pH 2.5 treatment.

仍可造成葉片斑點的產生。筍花葉表也有一層臘質，pH 值雖略高於芥藍，但並沒有斑點的產生，因此表面 pH 值（pH2.5 噴施後）和斑點面積的相關係數祇有 0.22（圖 2），未達顯著水準，顯然若單獨以葉表 pH 值的變化作爲指標作物的篩選是不可行，主要原因可能是葉表的臘質。事實上，葉片最外側的臘層，上有皮狀、緞帶狀、管狀及桿狀等各種不同的結晶臘質，這些臘質是對抗酸雨的屏障（Turunn and Huttunn, 1990）。Caporn 及 Hutchinson (1986) 發現甘藍菜子葉較真葉對酸雨敏感，主要原因是子葉表層臘層結晶狀臘質較少且密度低所致。Percy 及 Baker (1987) 用酸雨處理豌豆、四季豆、蠶豆及芥藍等園藝作物，若處理植株葉表有結晶狀臘質者較非結晶臘質受害深。而當葉片受酸雨潤濕後，臘質進行化學分解，臘質的長鏈脂肪酸產生游離，將其組成結構產生改變，進而臘質分解而破裂。由上述臘質的特性、分佈及分解的差異，皆可使葉表 pH 值產生改變。除此之外，茸毛的有無，葉面粗糙程度及葉型亦是應考慮的問題。雖然，葉表 pH 值變化與緩衝力指數有高相關性（圖 3），但仍不適爲篩選工具。

由於指標作物在環境監測應用上十分方便、迅速，只要選擇一些對酸雨較爲敏感的作物，無論是以室內盆栽或室外種植的方式，均可達到監測的目的。指標作物的選定需考慮該作物是否在各地區，及每一季節皆可種植爲前題，以臺灣北部爲例，冬季低溫及陰雨綿綿將使一些作物無法栽種，即使勉強種植，則作物對環境的不適應，將使酸雨的傷害徵狀無法表現。至於其他因素，如生育週期長短，種植難易及對病蟲害抵抗性強弱等，皆是建立指標作物區應考慮的因素。由本試驗所作結果可知，葉片緩衝能力是評估酸雨指標作物的一種方法，尤其針對葉片的傷害方面。至於葉表 pH 值變化，則應先對葉表腊質進行分類，依不同組群進行測定較爲可行。

## 引用文獻

姚銘輝、 淥匡時、 蔡金川、 梁連勝 1995 人工模擬酸霧對三種冬季葉菜之傷害。中華農業研究 44:72-80。

姚銘輝、 陳述、 蔡金川 1995 酸雨對大豆氮素累積及產量構成因素之影響。中華農藝 5(4):(印刷中)

Adams, C. M., N. G. Dengler and T. C. Hutchinson. 1984. Acid rain effects on foliar histology of Artemisia tile-

sii. Can. J. Bot. 62:463-474.

Bender, J., R. Manderscheid and H. J. Jager. 1990. Analyses of enzyme activities and other metabolic criteia after five years of fumigation. Environ. Pollut. 68:331-343.

Caporn, S. J. M. and T. C. Hutchison. 1986. The contrasting response to simulated acid rain of leaves and cotyledons of cabbage (*Brassica oleracea*). New Phytol. 103:311-324.

Haines, B. L., J. A. Jernstedt and H. S. Neufeld. 1985 . Direct foliar effects of simulated acid rain-II. Leaf surface characteristics. New phytol. 99: 407-416.

Kaiser, G. and U. Heber. 1983. Photosynthesis of leaf cell protoplasts and permeability of the plasmalemma to some solutes. Planta 157:462-470.

Legge, A. H. and J. C. Bogner. 1988. Foliar sulphar species in pine: A new indecator of a forest ecosystem under air pollution stress. Environ. Pollut. 57:15-28.

Mclaughlin, J. W., D. D. Reed, S. T. Bagley, M. F. Jurgensen and G. D. Mroz. 1994. Foliar amino acid accumulation as an indicator of ecosystem stress for first-year sugar maple seedings. J. Environ. Qual. 23:154-161.

Musselman, R. C. 1988. Acid neutralizing capacity of leaves exposed to acidic fog. Environ. Exp. Bot. 28: 27-32.

Olszyk, D. M., A. Bytnerowicz and B. K. Takemoto. 1989. Photochemical oxidant pollution and vegetation: Effects of mixtures of gases, fog and particles. Environ. pollut. 61:11-29.

Percy, K. E. and E. A. Baker. 1987. Effects of simulated acid rain on production, morphology and composition of epicuticular wax and on cuticular membrane development. New Phytol. 107:577-589.

Pfanz, H. and U. Heber. 1986. Buffer capacities of leaves, leaf cells, and leaf cell organells in relation to fluxes of potentially acidic gases. Plant Physiol. 81:597-602.

Pylypec, B. and R. E. Redmann. 1984. Acid-buffering capacity of foliage from boreal forest species. Can. J. Bot. 62:2650-2653.

Raven, J. A. 1990. Sensing pH? Plant Cell & Environ. 13:721-729.

Shriner, D. S. 1980. Vegetation surfaces: a plan form for pollutant / parasite interactions. In: Acid Deposition Environemental Economic and Policy Issues. (eds) Adams D. D. and W. P. Pages. pp. 259-272. Plenum Press, N. Y.

Soares, A., J. Y. Ming and J. Pearson. 1995. Physiological indicators and susceptibility of plants to acidifying atomospheric pollution: A multi-variate approach. Environ. Pollut. 87: 159-166.

Turunen, M. and S. Huttunen. 1990. A review of the response of epicucular waxs of conifer needles to air pollution. J. Environ. Qual. 19:35-45.

Yao, M. H., S. Chen, J. C. Tsai, M. J. Fan and L. S. Liang. 1995. Differential responses of soybean foliage to simulated acid rain . J. Agric. Res. China 44:81-91.